

## ارزیابی ریسک کمی واحد تغلیظ و احیا گاز اسیدی با استفاده از شبیه‌سازی دینامیک در اسپن پلاس

مناسادات امامی مقدم<sup>۱\*</sup>، بیژن حجازی<sup>۲،\*\*</sup>، مهدی کریمی<sup>۳</sup>، سید علی موسوی<sup>۴</sup>

گروه مهندسی شیمی دانشگاه فردوسی مشهد

\*آدرس پست الکترونیک نویسنده ارائه کننده (monaemami93@yahoo.com)

\*\*آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات (b.hejazi@um.ac.ir)

### چکیده

دو مزیت مهم استفاده از شبیه‌سازی‌های دینامیک برای ارزیابی ریسک، مشخص کردن مرزهای ناایمن فرایند به صورت کمی و بررسی انتشار اغتشاش از نقطه‌ای به نقطه دیگر فرایند است. همچنین به کمک نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، مقدار زمان در دسترس از لحظه شروع اغتشاش تا بروز حادثه قابل محاسبه است. در این پژوهش سه دسته اغتشاش پرتکرار در فرایندهای شیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است؛ بروز اغتشاش ناشی از خطای اپراتور، خرابی شیر کنترلی و نشت و شکستگی در خط لوله گاز. تمرکز اصلی در این مطالعه بر روی پدیده‌های طغیان و بارش در برج‌های واحد تغلیظ و احیا گاز اسیدی است که زیرمجموعه فرایندهای تصفیه گاز طبیعی می‌باشند. در انتها، پیامد اغتشاشات بررسی شده به صورت کمی مقایسه شده و از نظر شدت رتبه‌بندی می‌شوند. از نتایج این پژوهش می‌توان برای طراحی لایه‌های حفاظتی جدید در جهت پیشگیری از پیامدهایی که دارای اولویت بالایی می‌باشند، استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی ریسک کمی، شبیه‌سازی دینامیک، فرایند تغلیظ و احیا گاز اسیدی، رتبه‌بندی کمی ریسک

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی (طراحی فرایند)، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استادیار گروه مهندسی شیمی (طراحی فرایند)، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار گروه مهندسی شیمی (طراحی فرایند)، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- مشاور صنعتی (واحد مهندس فرایند)، شرکت پالایش گاز شهید هاشمی نژاد

## ۱- مقدمه

آنالیز مخاطرات و راهبری عملیات (HAZOP) یکی از روش‌های متداول ارزیابی ریسک است که در فرایندهای شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دلیل جامعیت بالا در بررسی خطرات احتمالی به عنوان پرکاربردترین روش تشخیص خطرات فرایندی شناخته می‌شود. اما این روش به دلیل ماهیت کیفی خود محدودیت‌هایی نیز دارد [۱]. در این پژوهش، از نرم‌افزار اسپن پلاس دینامیک به عنوان ابزار مکمل روش ارزیابی ریسک استفاده شده است تا با کمی‌سازی آنالیزها، ابهامات و نواقص HAZOP معمولی را کاهش دهد [۲]. با استفاده از شبیه‌سازی دینامیک و آنالیز تغییرات در فرایند، مقدار عددی اغتشاشاتی که منجر به رخداد خطر می‌شود تعیین می‌گردد. همچنین فاصله زمانی که اپراتور امکان جلوگیری از بروز حادثه را قبل از رسیدن به حد بحرانی دارد، قابل محاسبه است. با بررسی دینامیک فرایند، دامنه اثرات انتشار یک اغتشاش در طول فرایند قابل مشاهده است [۳]. همچنین، با استفاده از HAZOP توسعه یافته امکان طراحی و بررسی لایه‌های حفاظتی مختلف و بهینه‌سازی آن‌ها وجود دارد [۴].

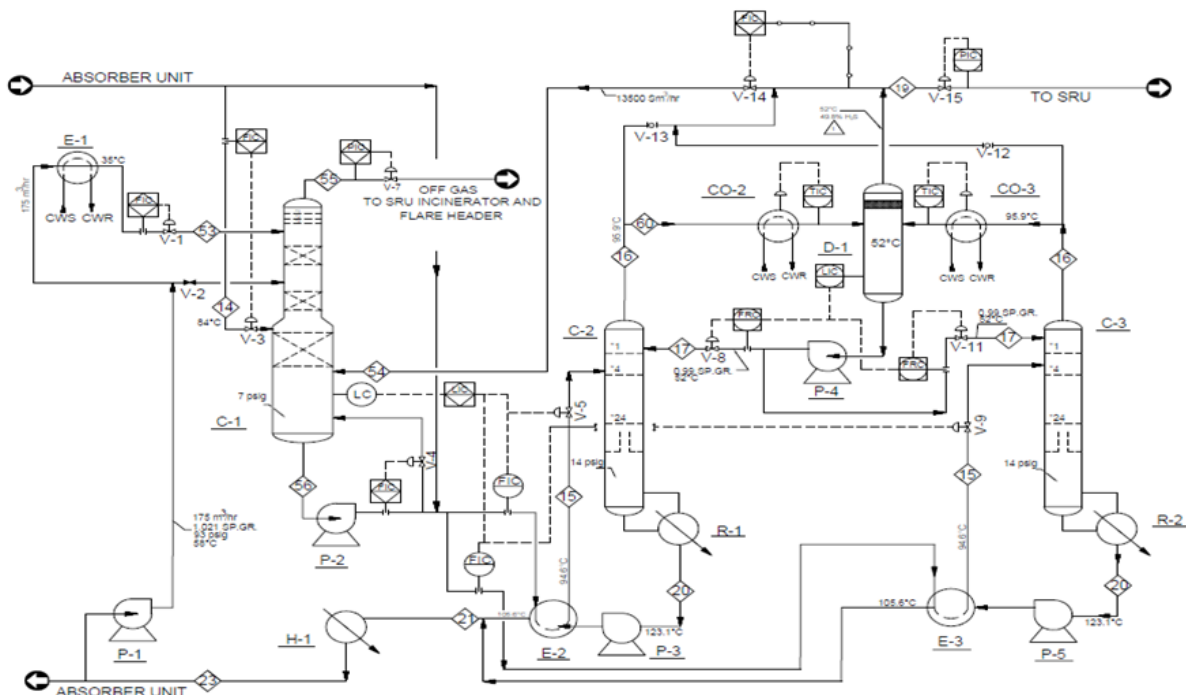
در این پژوهش فرایند تغلیظ و احیای گازهای اسیدی زیرمجموعه فرایندهای تصفیه گاز طبیعی در پالایشگاه شهید هاشمی نژاد مورد مطالعه قرار گرفته است تا انتشار برخی از اغتشاشات و حوادث محتمل شناسایی شود و شدت پیامدهای آن‌ها محاسبه گردد. بررسی حوادث رخ داده در گذشته نشان‌دهنده برخی از علل وقوع پدیده‌های بارش (Weeping) و طغیان (Flooding) در واحدهای شیمیایی است [۱ و ۵]. ناحیه تمرکز این پژوهش محدود به اغتشاشاتی است که منجر به پدیده طغیان و بارش در برج‌های احیا و تغلیظ می‌شوند.

## ۲- روش‌شناسی

در فرایند تصفیه گاز، آمین غلیظ خروجی از برج جذب به برج‌های احیا فرستاده می‌شود تا گازهای اسیدی جذب شده از آمین جدا شود و به عنوان خوراک در واحد بازیافت گوگرد مورداستفاده قرار گیرد. برخی از ناخالصی‌های نامطلوب مانند BTEX<sup>۱</sup> و هیدروکربن‌های سنگین بر روی کاتالیزورهای واحد بازیافت گوگرد تأثیر منفی می‌گذارند و منجر به کاهش کیفیت محصول گوگرد و استهلاک کاتالیزورها می‌شوند [۶]. از طرفی، افزایش دما در کوره و واکنش بازیافت گوگرد منجر به حذف ناخالصی‌های نامطلوب می‌شود. یکی از بهترین روش‌های افزایش دما در کوره، افزایش غلظت H<sub>2</sub>S در گازهای اسیدی ورودی به واحد بازیافت گوگرد است. برای رسیدن به این هدف، فرایند تغلیظ گاز اسیدی به واحد تصفیه گاز اضافه می‌شود. نمودار جریان فرایندی واحد که شامل ساختار کنترلی فرایند نیز می‌باشد در شکل ۱ نمایش داده شده است. برای شبیه‌سازی از مدل ترمودینامیکی ELECNRTL استفاده می‌شود. برای تنظیم کنترل‌کننده‌های دبی، سطح و فشار از دستورالعمل‌های

<sup>۱</sup> Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene

ارائه شده توسط لوبین استفاده شده است [۷]. به علاوه، تنظیم پارامترهای کنترل کننده دما با استفاده از روش مدار بسته پس خور رله با استفاده از روش تنظیم تیروس- لوبین در نرم افزار اسپن پلاس دینامیک با فرض زمان مرده یک دقیقه محاسبه شده است [۸]. به علت محدودیت در تعداد صفحات مقاله، مشخصات طراحی تجهیزات، پارامترهای عملیاتی حالت پایا و پارامترهای کنترل کننده ها در فایل تکمیلی گنجانده می شود.

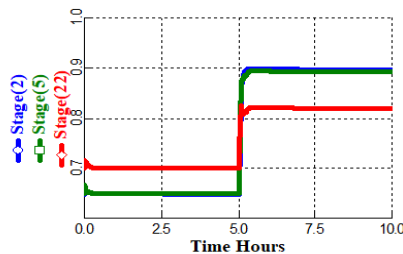


شکل ۱- نمودار جریان فرایند احیا و تغلیظ گازهای اسیدی

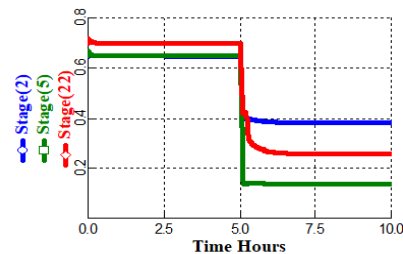
### ۳- پیش بینی اثرات اغتشاشات بر عملکرد فرایند

به طور کلی پیامد ناشی از پدیده طغیان سبب انتشار مواد از برج می شود و پدیده بارش به دلیل ماهیت نوسانی باعث آسیب به یکپارچگی برج و کاهش راندمان می گردد. در این پژوهش به چهار سناریو اغتشاش که با توجه به بررسی حوادث گذشته احتمال رخداد بالاتری دارند، پرداخته شده است. دو اغتشاش مربوط به ریویولرهای برج های احیا است که در واحد برای آن ها کنترلی در نظر گرفته نشده و توسط اپراتور کنترل می شوند. خرابی کنترل کننده فشار واحد تغلیظ و نشت در مسیر لوله جریان گاز خروجی از برج احیا، دو اغتشاش دیگری هستند که در ادامه بررسی می شوند. تمامی اغتشاشات بعد از ۵ ساعت که فرایند کاملاً به حالت پایدار رسیده است، اعمال گردیده است. در بررسی نمودارهای خروجی از نرم افزار اسپن پلاس دینامیک برای هر برج، سه سینی به عنوان نمونه در موقعیت های مختلف نسبت به سینی خوراک انتخاب شده تا تصویر مناسبی از پیامد رخ داده را نمایش دهد. پدیده های طغیان و بارش ذکر شده به ترتیب بر مبنای ضریب طغیان بزرگتر از ۸۰٪ و کوچکتر از ۵۰٪ تعریف شده اند [۳].

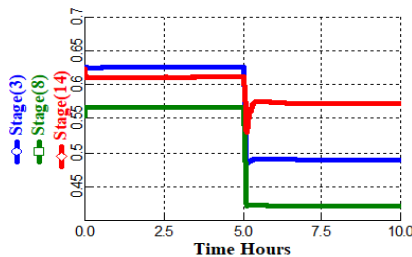
- **اغتشاش ۱: کاهش ۳۶٪ بار حرارتی ریویولر برج C2**  
مطابق شکل ۲ بر اثر این اغتشاش در برج C2 پدیده بارش اتفاق می افتد و در حدود ۱۵ دقیقه ضریب طغیان به کمتر از ۲۰٪ می رسد. با مقایسه حالت پایای قبل و بعد از اغتشاش، مهم ترین تأثیرات این اغتشاش کاهش ۲۹٪ کسر مولی H<sub>2</sub>S و افزایش ۲۵٪ کسر مولی CO<sub>2</sub> در جریان خروجی از واحد احیا (جریان ۱۹) است که خوراک واحد بازیافت گوگرد می باشد. به علاوه، در اثر این اغتشاش، دبی مولی این جریان ۴۹٪ کاهش می یابد.
- **اغتشاش ۲: افزایش ۱۴٪ بار حرارتی ریویولر برج C2**  
مطابق شکل ۳ این اغتشاش باعث پدیده طغیان در برج C2 می شود و در بازه ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ای ضریب طغیان در این برج به بالای ۸۰ درصد می رسد. این اغتشاش در جریان ۱۹ باعث افزایش ۱۴۰٪ کسر مولی H<sub>2</sub>O و افزایش ۳۷٪ دما می شود و همچنین کسر مولی H<sub>2</sub>S ۳۲٪ کاهش می یابد.
- **اغتشاش ۳: نشت در لوله گاز خروجی از برج C2**  
برای شبیه سازی این سناریو از یک splitter و یک جریان اضافه در مسیر خط لوله استفاده شده است [۹]. مطابق شکل ۴، در صورتی که به میزان ۷۶ kmol/hr از جریان شماره ۶۰ گاز نشت کند، بعد از حدود ۳۰ دقیقه باعث به وجود آمدن پدیده بارش در برج C2 می شود. بر اثر این اغتشاش دبی مولی جریان ۱۹، ۵۱٪ کاهش، کسر مولی CO<sub>2</sub> ۲۲٪ افزایش و کسر مولی H<sub>2</sub>S در این جریان ۲۴٪ کاهش می یابد.
- **اغتشاش ۴: خرابی شیر کنترل کننده فشار V-7**  
مطابق شکل ۵، با ۵ درصد بسته شدن این شیر پدیده بارش در برج C1 رخ می دهد. پیامدهای دیگر این اغتشاش کاهش ۳۴٪ کسر مولی H<sub>2</sub>S و افزایش ۲۹٪ کسر مولی CO<sub>2</sub> در جریان ۱۹ می باشد. امکان بررسی پیامد ناشی از بسته شدن بیشتر از ۵ درصد این شیر به علت مشکل همگرایی در اسپن پلاس دینامیک امکان پذیر نمی باشد.



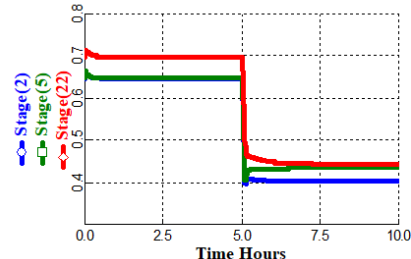
شکل ۳- پدیده طغیان در برج C2 در اثر اغتشاش ۲



شکل ۲- پدیده بارش در برج C2 در اثر اغتشاش ۱



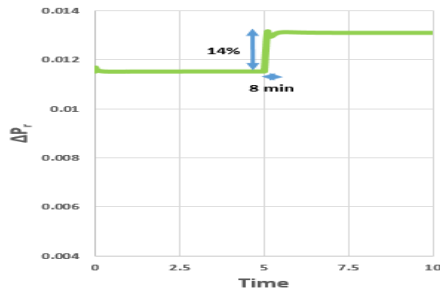
شکل ۵- پدیده بارش در برج C1 در اثر اغتشاش ۴



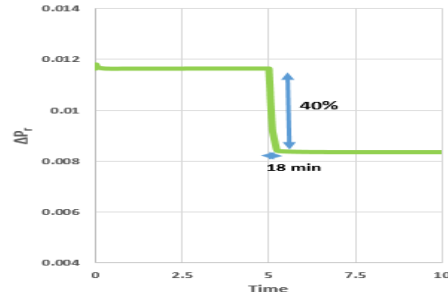
شکل ۴- پدیده بارش در برج C2 در اثر اغتشاش ۳

#### ۴- رتبه‌بندی شدت ریسک مربوط به اغتشاشات

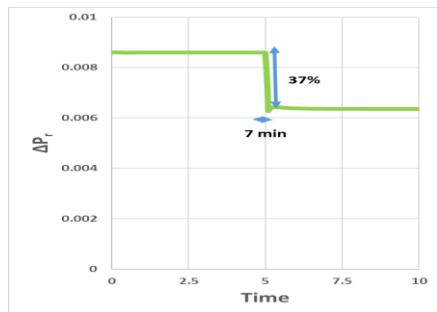
به‌منظور مقایسه شدت پیامدهای طغیان و بارش ناشی از هر اغتشاش از پارامتر افت فشار در هر متر از برج استفاده شده است. این پارامتر امکان تصمیم‌گیری در رابطه با پیامدهای مختلف را ساده‌تر می‌کند و امکان تشکیل ماتریس ریسک کمی را بر اساس شبیه‌سازی‌های دینامیک می‌دهد. برای محاسبه شدت پیامد، نمودار  $\Delta P_T$  برحسب زمان برای هر اغتشاش در شکل‌های ۶ تا ۹ رسم شده است.



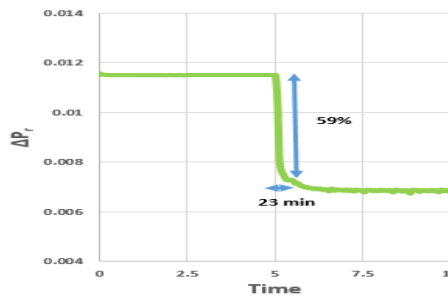
شکل ۲- اختلاف فشار برج C2 در اثر اغتشاش ۲



شکل ۶- اختلاف فشار برج C2 در اثر اغتشاش ۱



شکل ۹- اختلاف فشار برج C1 در اثر اغتشاش ۴



شکل ۸- اختلاف فشار برج C2 در اثر اغتشاش ۳

شاخص رتبه‌بندی ریسک ناشی از هر اغتشاش از حاصل ضرب شاخص شدت ریسک (در ۳ سطح کم، متوسط و بالا) در شاخص سرعت انتشار (در ۳ سطح آهسته، متوسط و سریع) به دست می‌آید [۱۰]. سطوح شاخص شدت ریسک عبارتند از: **سطح ۱:** حداکثر تغییر نسبت افت فشار کمتر از ۱۰٪ مقدار حالت ثابت، **سطح ۲:** حداکثر تغییر نسبت افت فشار بین ۱۰٪ و ۲۰٪ مقدار حالت ثابت و **سطح ۳:** حداکثر تغییر نسبت افت فشار بیشتر از ۲۰٪ مقدار حالت ثابت. به علاوه، سطوح شاخص سرعت انتشار عبارتند از: **سطح ۱:** مدت‌زمان رسیدن به اوج افت فشار بیش از ۳۰ دقیقه، **سطح ۲:** مدت‌زمان رسیدن به اوج افت فشار بین ۱۰ دقیقه و ۳۰ دقیقه و **سطح ۳:** مدت‌زمان رسیدن به اوج افت فشار کمتر از ۱۰ دقیقه. بنابراین، شاخص رتبه‌بندی شدت ریسک عبارتست از: **سطح پایین:** شاخص خطر بین ۱ تا ۳، **سطح متوسط:** شاخص خطر بین ۴ تا ۶ و **سطح بالا:** شاخص خطر بین ۷ تا ۹. با توجه به شکل‌های ۶ تا ۹، اغتشاش ۴ با شاخص رتبه‌بندی ۹ بیشترین شدت پیامد (ریسک سطح بالا) را دارد، درحالی‌که سه اغتشاش دیگر با شاخص رتبه‌بندی ۶ در دسته سطح متوسط قرار می‌گیرند [۴].

## ۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، ارزیابی ریسک بر روی فرایند تغلیظ و احیای گازهای اسیدی تولیدشده در فرایند تصفیه گاز طبیعی انجام گردید که متشکل از ۳ برج تقطیر است. سناریوهای اغتشاش انتخاب شده شامل افزایش و کاهش بار حرارتی ریویلر برج اول در واحد احیا، خرابی شیر کنترل فشار در برج دوم در واحد تغلیظ و بررسی اثرات نشت گاز از جریان خروجی از برج احیا اول می باشد. با استفاده از نتایج به دست آمده از نرم افزار اسپن پلاس دینامیک، پدیده های طغیان و بارش ناشی از اغتشاش های فوق شناسایی شده و مدت زمان طول کشیده از آغاز اغتشاش تا رسیدن به حد طغیان و بارش محاسبه گردید تا بتوان بر اساس مدت زمان در دسترس تمهیدات لازم و اقدامات مؤثر توسط اپراتورها در نظر گرفت. همچنین، بر اساس پارامتر افت فشار در هر متر از برج، سناریوها از نظر شدت اثر طبقه بندی شدند. می توان از این روش کمی ارزیابی ریسک می توان در جهت مدیریت ایمنی فرایند و به عنوان ابزار تصمیم گیری استفاده کرد. برای رسیدن به این هدف لازم است تمامی اغتشاشات ممکن در فرایند بررسی گردد تا امکان اولویت بندی سناریوهایی که می توانند منجر به سانحه شوند فراهم آید.

## تشکر و قدردانی

از حمایت و پشتیبانی شرکت پالایش شهید هاشمی نژاد (خانگیران) صمیمانه تشکر و قدردانی می گردد.

## مراجع

- [1] J. Isimite, P. Rubini, A dynamic HAZOP case study using the Texas City refinery explosion, J. Loss Prev. Process Ind. 40 (2016) 496–501.
- [2] F. Berdouzi, Using dynamic simulation for risk assessment: application to an exothermic reaction, Comput. Aided Chem. Eng. 38 (2016) 1563–1568.
- [3] N. Olivier-Maget, Deviation propagation along a propylene glycol process using dynamic simulation: An innovative contribution to the risk evaluation, J. Loss Prev. Process Ind. 70 (2021) 104435.
- [4] M. Carlos, Deviation propagation analysis along a cumene process by using dynamic simulations, Comput. Chem. Eng. 117 (2018) 331–350.
- [5] G. Atkinson, Flammable vapor cloud generation from overfilling tanks: Learning the lessons from Buncefield, J. Loss Prev. Process Ind. 35 (2015) 329–338.
- [6] S. Ibrahim, Aromatics oxidation in the furnace of sulfur recovery units: Model development and optimization, J. Nat. Gas Sci. Eng. 83 (2020) 103581.
- [7] W.L. Luyben, Control of a multiunit heterogeneous azeotropic distillation process, AIChE J. 52(2) (2006) 623–637.
- [8] J. Zhu, Design of plantwide control and safety analysis for diethyl oxalate production via regeneration-coupling circulation by dynamic simulation, Comput. Chem. Eng. 121(2019) 111–129.
- [9] A. Kummer, T. Varga, Process simulator assisted framework to support process safety analysis, J. Loss Prev. Process Ind. 58(2019) 22–29.
- [10] S. Jordan, H. Mitterhofer, The interdiscursive appeal of risk matrices: Collective symbols, flexibility normalism and the interplay of risk and uncertainty, Account. Organ. Soc. 67(2018) 34–5.

تمایل دارم این مقاله را در بخش  پوستر  شفاهی ارائه نمایم



## Quantitative risk assessment of acid-gas enrichment and regeneration process using Aspen Plus dynamic simulation

Mona Sadat Emami Moghaddam<sup>1,\*</sup>, Bijan Hejazi<sup>2,\*\*</sup>, Mehdi Karimi<sup>3</sup>, Seyed Ali Mousavi<sup>4</sup>

*Chemical Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad*

*\* Presentor E-mail: monaemami93@yahoo.com*

*\*\* Corresponding Author E-mail: b.hejazi@um.ac.ir*

### Abstract

Two important advantages of using dynamic simulations for risk assesment are quantitative determination of unsafe process boundaries and investigation of disturbance propagation along the process units. In addition, with the help of software simulation, the length of time available from the beginning of a disturbance to the occurrence of the accident can be calculated. In this study, three categories of frequent disturbances in chemical processes have been investigated: the disturbances due to operator error, the control valve failure and the leakage in the gas pipeline. The main focus of this research is on flooding and weeping phenomena in acid-gas enrichment and regeneration columns which are parts of natural gas treating unit. Finally, the consequences of the investigated disturbances are compared quantitatively and classified based on their severity. The results of this study can be used for the design of new layers of protection to avoid high-priority consequences.

**Keywords:** Quantitative Risk Assessment, Dynamic Simulation, Acid-Gas Enrichment and Regeneration Process, Quantitative Risk Classification

---

<sup>1</sup> Chemical Engineering MSc student, Process Design

<sup>2</sup> Assistant Professor, Chemical Engineering Department, Process Design

<sup>3</sup> Assistant Professor, Chemical Engineering Department, Process Design

<sup>4</sup> Industrial Consultant, Shahid Hasheminejad Gas Refining Company, Process Engineering Unit